



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO PILOTO PARA EL EFLUENTE LÍQUIDO DE
LA MINA NUEVA ESPERANZA – NIVEL 2, CAJAMARCA
2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Katteryn Skarlet Baca Sánchez

Asesor:

M. Sc. Gladys Sandi Licapa Redolfo

Cajamarca - Perú

2020

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.1.1. Antecedentes.....	13
1.1.2. Efluente líquido minero.....	15
1.1.3. Sistema de tratamiento.....	15
1.1.4. Tipos de sistemas de tratamientos.	19
1.1.5. Parámetros a analizar.	21
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Objetivos.....	23
1.3.1. Objetivo general.....	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. Hipótesis	24
1.4.1. Hipótesis general.	24
1.4.2. Hipótesis específicas	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	25
2.1. Tipo de Investigación	25
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	26
2.2.1. Materiales.	26
2.2.2. Instrumentos.....	27
2.2.3. Método.	28
2.3. Procedimiento	33

2.3.1.	<i>Medición de parámetros físicos y químicos.</i>	33
2.3.2.	<i>Diseño y construcción, sistema piloto.</i>	34
2.3.3.	<i>Aspectos éticos de la investigación.</i>	36
CAPÍTULO III. RESULTADOS		37
3.1.	Caracterización del efluente líquido minero	37
3.2.	Alternativas de tratamiento de agua	37
3.2.1.	<i>Sistema “Convencional”</i>	38
3.2.2.	<i>Sistema Mixto.</i>	40
3.3.	Procesos unitarios a nivel laboratorio (sistema batch)	42
3.3.1.	<i>Sedimentador.</i>	42
3.3.2.	<i>Alcalinizador.</i>	43
3.3.3.	<i>Resultados iniciales y finales de los principales procesos unitarios en sistema batch.</i>	44
3.4.	Costos de construcción, operación y mantenimiento	45
3.5.	Resultados de la calidad del agua del sistema piloto	49
3.5.1.	<i>Comparación de resultados del sistema piloto, con los límites máximos permisibles (D.S N° 010-2010-MINAM).</i>	53
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		55
4.1.	Discusión	55
4.1.1.	<i>Costos de construcción operación y mantenimiento de los sistemas.</i>	55
4.1.2.	<i>Agua tratada en el Sistema Mixto a nivel piloto.</i>	56
4.1.3.	<i>Comparación de los metales, antes, durante y después del sistema piloto.</i>	63
4.2.	Conclusiones	71
REFERENCIAS		73
ANEXOS		77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores de selección y evaluación para las operaciones y procesos unitarios....	17
Tabla 2 Tratamientos físicos.....	20
Tabla 3 Tratamiento químicos.....	20
Tabla 4 Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.....	21
Tabla 5 Coordenadas de la Mina Nueva Esperanza – Nivel 2.....	28
Tabla 6 Acceso a la Mina Nueva Esperanza-Nivel 2	28
Tabla 7 Ríos y quebradas del Centro Poblado San Miguel Algamarca.....	29
Tabla 8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
Tabla 9 Métodos de ensayo del Laboratorio SGS	33
Tabla 10 Evaluación de resultados de efluentes con respecto a límites máximos permisibles, N° D.S. 010-2010-MINAM	37
Tabla 11 Diseño de experimento para sedimentación.	43
Tabla 12 Piedra caliza y efluente líquido de mina.	44
Tabla 13 Resultados iniciales y finales para el sistema batch.	44
Tabla 14 Costos de construcción y operación del Sistema “Convencional”	45
Tabla 15 Costos de mantenimiento mensual del Sistema “Convencional”	45
Tabla 16 Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el primer y segundo año	46
Tabla 17 Costos de mantenimiento y operación del Sistema “Convencional” para el tercer año.	46
Tabla 18 Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el cuarto año.....	46
Tabla 19: Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el quinto año.....	46
Tabla 20 Costos de construcción y operación del Sistema Mixto.	47

Tabla 21 <i>Costos de mantenimiento mensual del Sistema Mixto.</i>	47
Tabla 22 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el primer año.</i>	47
Tabla 23 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el segundo año .</i>	48
Tabla 24 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el tercer año. .</i>	48
Tabla 25 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el cuarto año. .</i>	48
Tabla 26 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el quinto año. .</i>	48
Tabla 27 <i>Resultados primer día del sistema piloto .</i>	49
Tabla 28: <i>Resultados segundo día del sistema piloto.</i>	50
Tabla 29 <i>Resultados tercer día del sistema piloto.</i>	51
Tabla 30 <i>Resultados cuarto día del sistema piloto.</i>	52
Tabla 31 <i>Comparación de resultados del sistema piloto con los límites máximos permisibles (D.S N° 010-2010-MINAM).</i>	53
Tabla 32 <i>Comparación de costos .</i>	55
Tabla 33 <i>Hipótesis estadística de ANOVA para pH.</i>	56
Tabla 34 <i>Resumen de los resultados de campo. .</i>	57
Tabla 35 <i>Hipótesis estadística de ANOVA para CE.</i>	58
Tabla 36 <i>Resumen de los resultados de campo CE. .</i>	59
Tabla 37 <i>Hipótesis estadística de ANOVA para CE.</i>	60
Tabla 38 <i>Resumen de los resultados de campo turbidez. .</i>	61
Tabla 39 <i>Comparación de hierro disuelto, zinc, cobre, arsénico y cadmio con límites máximos permisibles. .</i>	63
Tabla 40 <i>Comparación de plomo con límites máximos permisibles. .</i>	64
Tabla 41 <i>Comparación de mercurio con límites máximos permisibles.</i>	65
Tabla 42 <i>Comparación de aceites y grasas con límites máximos permisibles.</i>	66
Tabla 43 <i>Comparación de cianuro con límites máximos permisibles.</i>	67

Tabla 44	<i>Comparación de cromo hexavalente con límites máximos permisibles.</i>	68
Tabla 45	<i>Comparación de solidos totales suspendidos con límites máximos permisibles..</i>	69
Tabla 46	<i>Presupuesto detallado del Sistema "Convencional"</i>	84
Tabla 47	<i>Presupuesto detallado del Sistema Mixto</i>	85

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Diseño del Sistema "Convencional", para tratar el efluente de mina.	35
<i>Figura 2:</i> Diseño del Sistema Mixto, para tratar el efluente de mina.	35
<i>Figura 3:</i> Comparación de los LMP con los resultados obtenidos en el sistema piloto.	54
<i>Figura 4:</i> Histograma del resultado de pH.....	56
<i>Figura 5:</i> Gráfica de cajas del comportamiento del pH en el sistema piloto.	57
<i>Figura 6:</i> Histograma de resultado del parámetro de conductividad eléctrica.....	58
<i>Figura 7:</i> Gráfica de intervalos del comportamiento de la conductividad eléctrica en el sistema piloto.	59
<i>Figura 8:</i> Histograma de resultado de la turbidez.	61
<i>Figura 9:</i> Gráfica de cajas del comportamiento de la turbidez en el sistema piloto.	62
<i>Figura 10:</i> Comparación de hierro disuelto, zinc, cobre, arsénico y cadmio con límites máximos permisibles.	63
<i>Figura 11:</i> Comparación del plomo con límites máximos permisibles.	65
<i>Figura 12:</i> Comparación de mercurio con límites máximos permisibles.	66
<i>Figura 13:</i> Comparación de aceites y grasas con límites máximos permisibles.....	67
<i>Figura 14:</i> Comparación de cianuro con límites máximos permisibles.....	68
<i>Figura 15:</i> Comparación de cromo hexavalente con límites máximos permisibles.	69
<i>Figura 16:</i> Comparación de sólidos totales suspendidos con límites máximos permisibles.	70
<i>Figura 17:</i> Tesista realizando la toma de muestras para la caracterización del efluente minero.	77
<i>Figura 18:</i> Conservación y etiquetado de las muestras, para enviarlo al laboratorio SGS.	77
<i>Figura 19:</i> Proceso unitario de sedimentación.....	78
<i>Figura 20:</i> Pesado y llenado de la piedra caliza a los vasos de precipitación.....	78

<i>Figura 21:</i> Proceso unitario, para aumentar el pH del efluente minero.	79
<i>Figura 22:</i> Secado de la piedra caliza y de piedra de rio.	80
<i>Figura 23:</i> Tachos de agua, micas y multiparámetros para el sistema piloto	80
<i>Figura 24:</i> Filtro ascendente y alcalinizador respectivamente.....	81
<i>Figura 25:</i> Sistema piloto armado.....	81
<i>Figura 26:</i> Monitoreo de los parámetros de conductividad, pH, turbidez.	82
<i>Figura 27:</i> Observación de la estética del agua tratada	82
<i>Figura 28:</i> Tesista tomando muestras del sistema piloto (STN2AT-01 y STN2AT-02)....	83
<i>Figura 29:</i> Diferencia de agua que ingresa con el agua que sale en el sistema piloto.	83
<i>Figura 30:</i> Diagrama de Pourbaix para Cobre.	87

RESUMEN

La presente investigación está basada en diseñar y evaluar un sistema de tratamiento piloto para el efluente líquido de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2, Cajamarca 2020, para lograr el objetivo, se llevó a cabo la evaluación de diferentes alternativas de procesos unitarios a nivel bibliográfico, teniendo en cuenta los resultados de la caracterización del efluente líquido minero, seguidamente se realizaron algunos de los procesos unitarios elegidos a nivel de laboratorio (Sistema Batch). Además, se realizó cotizaciones de precios para determinar cuál de los dos sistemas propuestos denominados como; Sistema “Convencional” y Sistema Mixto, es el más económico en cuanto a construcción, operación y mantenimiento, considerando el caudal de 60 L/min. Con la empresa Innodel S.A.C se llevó a cabo el dimensionamiento a escala real en planos del sistema seleccionado, finalmente se construyó el Sistema Mixto a nivel piloto en la zona de estudio para verificar su efectividad, logrando mejorar la calidad del efluente líquido, pH se aumentó de 4.35 a 6.9 y Cobre total disminuyó de 1.34035 mg/L a 0.08934 mg/L, cumpliendo con los estándares el Decreto Supremo N°010-2010-MINAM.

Palabras clave: Efluente minero, sistema de tratamiento de agua, procesos unitarios.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- American Water Works Association (2002). *Calidad y tratamiento del agua: Manual de suministros de agua comunitaria* (ed. 5). España: McGraw-Hill.
- American Water Works Association (2012). *Water treatment plant design*. McGraw-Hill
- Ayora, C., Rötting, T., Caraballo, M., & Nieto, J. (2007). *DAS: Un sistema pasivo novedoso de tratamiento de aguas de mina con altas concentraciones de metales*. Barcelona. MACLA, pp. 72.
- Bakieva, M., González Such, J., & Jornet, J. (2010). *SPSS: Anova de un factor*. Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa.
- Cadorin, L., Carissimi, E., & Rubio, J. (2007). *Avances en el tratamiento de aguas ácidas de minas* (vol. 1). Scientia et Technica, pp 849,853.
- Calvo, D., Casado, J., Zamora, G., & Alfonso, P. (2013). *Estudio para el tratamiento de las aguas ácidas por neutralización-precipitación en el interior de la mina Santa Fé, Bolivia*. Libro de actas del III congreso internacional de geología y minería ambiental para el ordenamiento territorial y el desarrollo. (pp. 297-310). Cardona.
- Caminati Briceño, A. M., & Caqui Febre, R. C. (2013). *Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la universidad de Piura*. Piura.
- Caraballo Monge, M., Mecías Suárez, F., Nieto Liñan, J., & Ayora Ibañez, C. (2010). *Tratamiento pasivo de aguas ácidas de mina: Evaluación de la eficiencia de un sistema a escala real en la mina Esperanza*. MACLA.
- Eugene, R. W. (2013). *Applications of Enviromental Aquatic Chemistry* (ed. 3). United States: Taylor & Francis Group.

Fernández C. A. (diciembre 2012). *El agua: Un recurso esencial* (vol. 11). Argentina: Química Viva. pp 147-170.

Heredia Cáceres, M. L. (2015). *Remoción de Cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante*. Lima.

Hernandez, P. (2018). *Mejores prácticas para prevenir falsos positivos y negativos para metales disueltos*. ALS.

Hernández Sapieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-HILL.

LENNTECH, (20 de agosto de 2019). Turbidez. Recuperado de <https://www.lenntech.es/turbidez.htm>

LENNTECH, (20 de agosto de 2019). Conductividad del agua. Recuperado de <https://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>

López Gutiérrez, H. (2011). *Tratamiento anaeróbico de aguas ácidas de mina con travertino y compost a escala de laboratorio*. Huancayo.

Maldonado Yactayo V. (2002), Capítulo 7: *Sedimentación*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf>

Pourbaix Marcel (1966). *Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions* (vol.2). National Association of Corrosion Engineers.

Medina Quispe, R. J. (2018). *Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de Mina Paragsha Cerro de Pasco en Minera Volcan S.A.A.*

Morales Escalante, J. E. (2016). *Remoción de sulfatos del efluente del sistema de refrigeración de una central termoeléctrica de ciclo combinado mediante la precipitación química de la Etringita*.

Merisac (s.f). Turbiclean, Filtración avanzada, recuperado de:

http://www.merinsa.com/pdf/industriales/equipos/FiltroTurbiCleanMerinsacSimple_Magnum.pdf

Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* (ed. 3). España.

Peñuela, G., & Morató, J. (2005). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. RED ALFA TECSPAR (Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales).

Peters, M., & Timmerhaus, K. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers*. McGRAW-HILL.

Ponce Ochoa, E. (2005). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada, Capítulo 3: Filtración*. Mexico. Universidad de las Américas Puebla.

Presidente de la República. (21 de agosto de 2010). *Aprueban Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas*. [Decreto Supremo N°010-2010-MINAM. Perú. Diario oficial el Peruano.

Presidente de la República. (7 de junio de 2017). *Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. [Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Perú. Diario oficial el Peruano.

Quispe Coica, F. A. (2016). *Remoción de Arsénico (As) de efluente minero en la unidad de producción de Marañón de compañía minera Poderosa, mediante la adición de cloruro férrico*.

Ramírez Sangay, F., & Días Uriarte, J. L. (2019). *Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Mejorar la Calidad del Agua Residual de las Piscinas Municipales del Distrito de Baños del Inca -2018*. Cajamarca: UPAGU

Rice, E.W., & Baird, A. D. (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater (ed. 23)*. American Water Works Assosation.

Rimarachin Varas P. (2015), *Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales*. Trujillo: UNT

Sgier, H., Macías, F., Nieto, J. M., & Rötting, T. (2015). *Diseño de una planta piloto para el tratamiento pasivo de drenaje acido de mina. artículo técnicos*, pp.70-75.

Zamora Carranza D. R. (2015). *Diseño de un tanque hidroneumático para agua potable según la norma ASME*. Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral.